

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Anàlisi funcional de la Central de cicle combinat de Sagunt i estudi de millores del seu procés de refrigeració

MEMÒRIA

ANNEX A: Plànol en planta de la CCC de Sagunt

ANNEX B: Corbes de funcionament de les torres de refrigeració per cabals d'aigua del circuit de 100 %, 90 % i 110 % respecte el cabal actual de referència

ANNEX C: Roses dels vents de l'estació meteorològica de Sagunt entre 2003 i 2006

ANNEX D: Càlculs tècnics del sistema de refrigeració

ANNEX E: Càlculs ambientals de les propostes plantejades

ANNEX F: Estimació de costos de construcció i manteniment d'una CCC

Autor: Albert Permanyer Serret
Director: Josep Maria Moranco
Convocatòria: Gener 2017



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



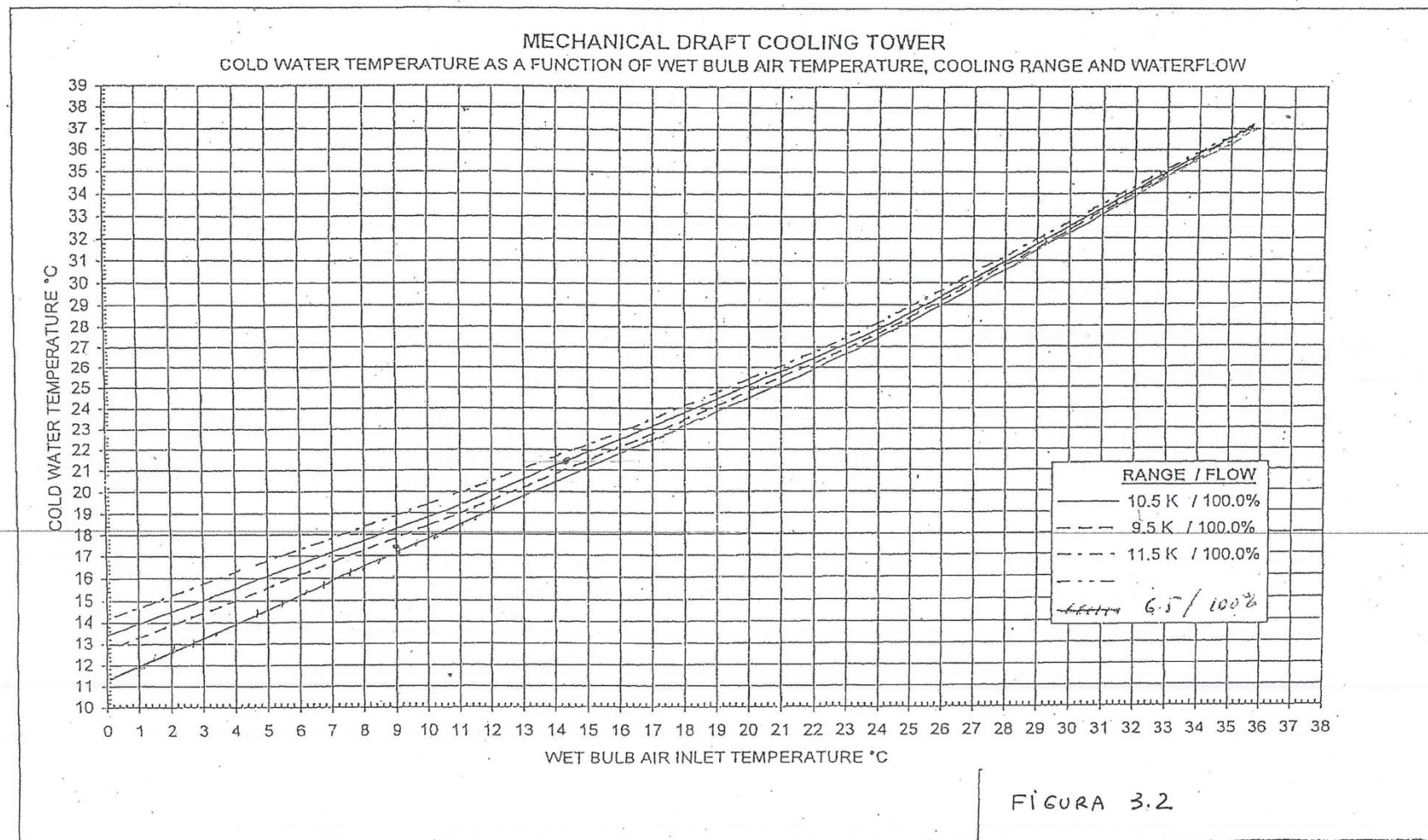
Nota indicativa

Les referències bibliogràfiques indicades amb superíndex en els apartats del present annex (exemple: ^[1]), corresponen a la bibliografia indicada en l'apartat "BIBLIOGRAFIA" de la memòria. De la mateixa manera, les fonts de les que s'han extret les imatges que s'inclouen en aquests annexos, estan indicades a la part final de l'apartat "FONTS D'IMATGES" de la memòria.

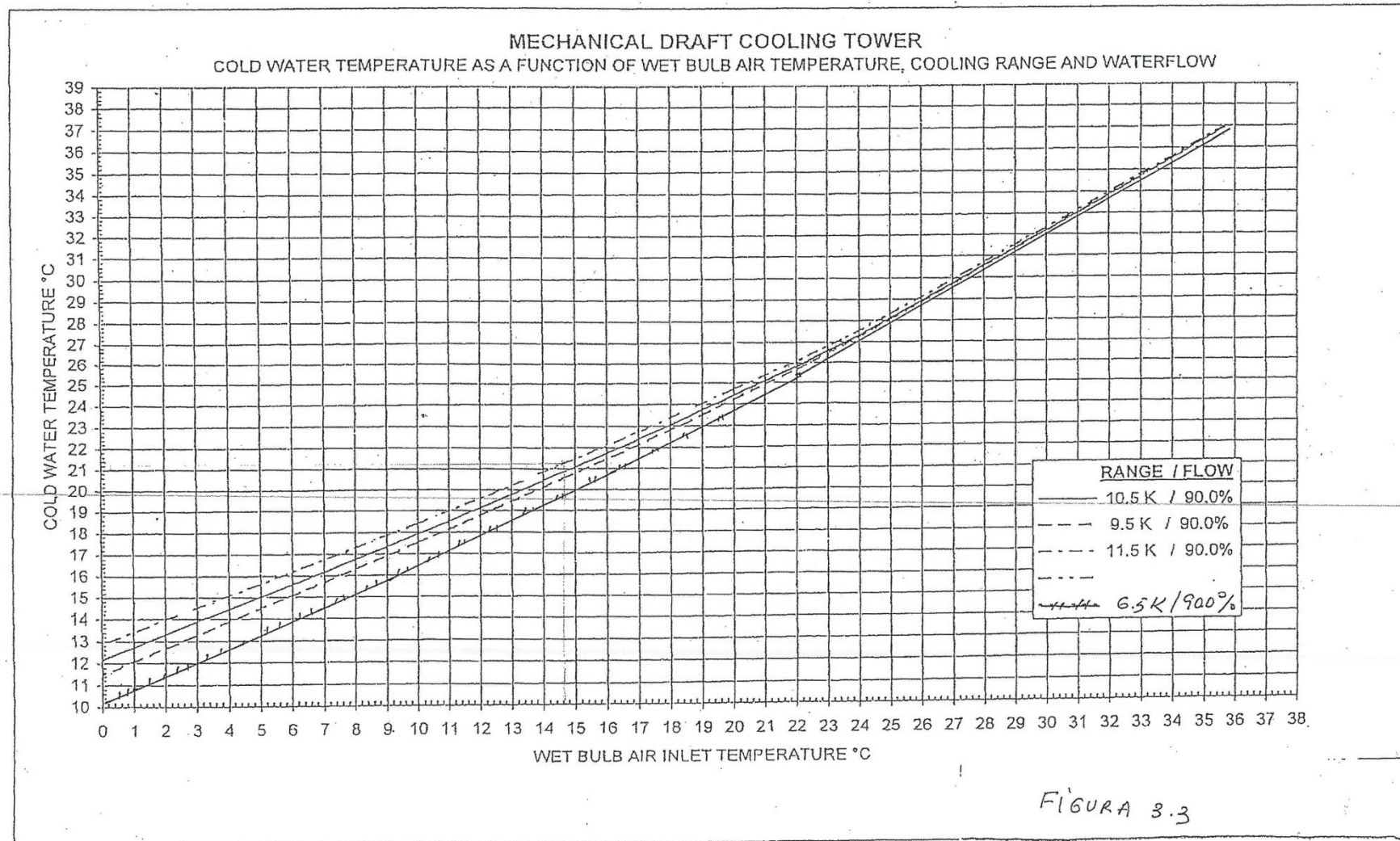
Annex A: Plànol en planta de la CCC de Sagunt ^[8]

Annex B: Corbes de funcionament de les torres de refrigeració per cabals d'aigua del circuit de 100%, 90% i 110% respecte el cabal actual de referència

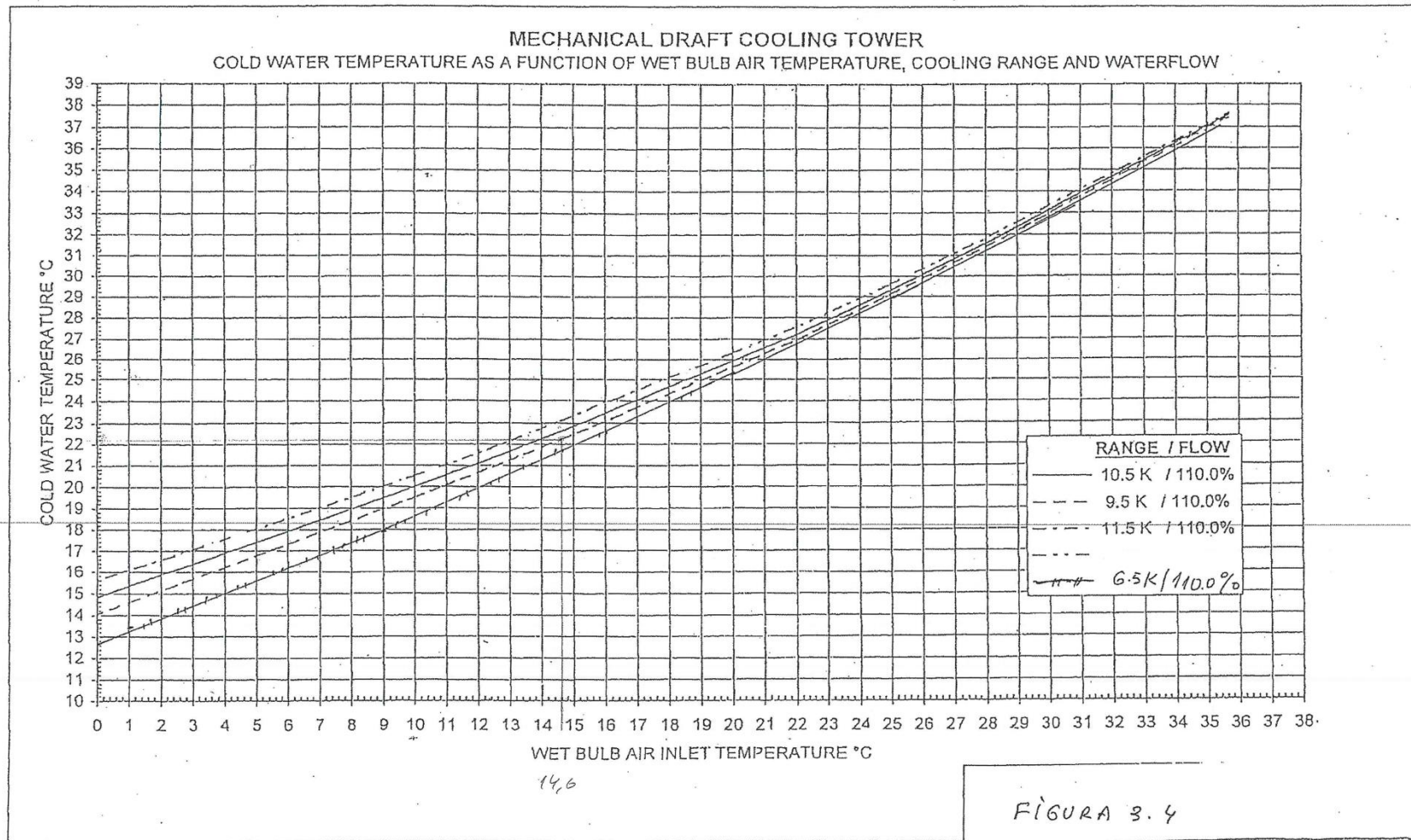
B.1 Situació de funcionament actual (100% del cabal de circulació) [8]



B.2 Situació de funcionament per un 90% del cabal actual de circulació [8]



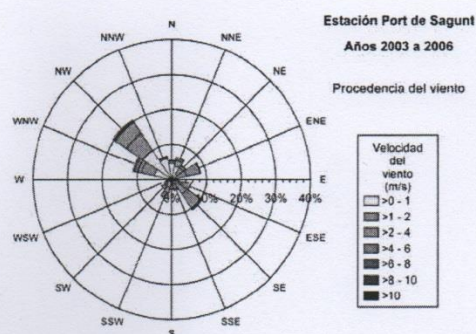
B.3 Situació de funcionament per un 110% del cabal actual de circulació [8]



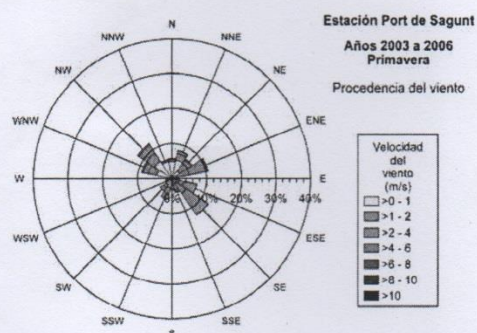
ANNEX C: Roses dels vents de l'estació meteorològica de Sagunt entre 2003 i 2006.

Figura 3.10 Rosas de viento para las velocidades registradas en la estación meteorológica de Port de Sagunt de la red de vigilancia y control de la contaminación (RVVCCA). Rosa de viento anual y rosas de vientos para cada estación del año. Datos horarios para el período (2003-06).

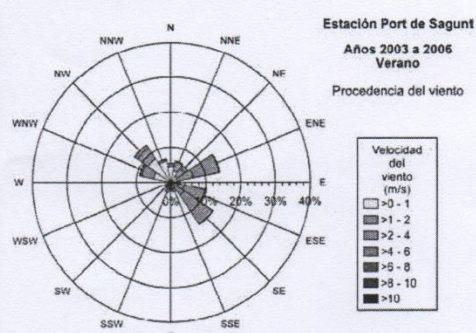
a) Anual



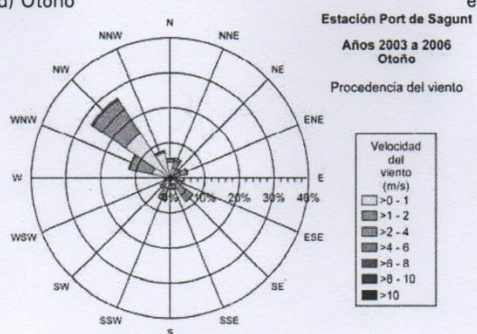
b) Primavera



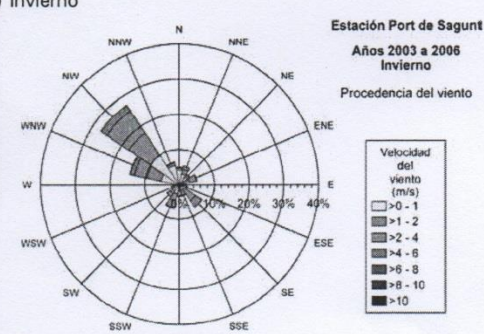
c) Verano



d) Otoño



e) Invierno



3-21

Ref [8]. Contrastat amb dades obertes d'AEMET de 2014 i 2015^[7] i altres webs de registres meteorològics^[9]

ANNEX D: Càlculs tècnics del sistema de refrigeració

D.1. Càlcul dels paràmetres de funcionament de la central en la situació de referència:

Dades conegudes	
Pressió nominal del condensador: p [bar]	0,0565
Temperatura freda de l'aigua del circuit de refrigeració: T_1 [°C]	21,6
Temperatura humida de l'aire d'entrada a la torre: T_{he} [°C]	14,65
Superfície total de transferència del condensador $S_{cond.}$ [m²]	8096
cabal de circulació del circuit de refrigeració: q [m³/h]	20900

Taula D.1: Dades conegudes en situació de referència^[4]

En primer lloc s'ha determinat la temperatura de referencia a la que es produeix la condensació del vapor que entra al condensador:

Sabent que la condensació es produeix a $p = 0,0565$ bar, per una temperatura freda de l'aigua de circulació del circuit de refrigeració de $T_1 = 21,6$ °C^[4], a partir de la corba de vaporització de l'aigua es pot deduir:

$$\ln(56,5 \cdot 10^{-3}) = 13,721 - \frac{5120}{T_0 (K)} \rightarrow T_0 = 308,53 K = 35.39 ^\circ C$$

Coneguda la pressió nominal del condensador (0,0565 bar), a partir de la corba que enfronta la potència elèctrica bruta generada (%) amb pressió de treball del condensador" (veure figura D.1) es pot determinar la potència bruta (%) generada per la central:

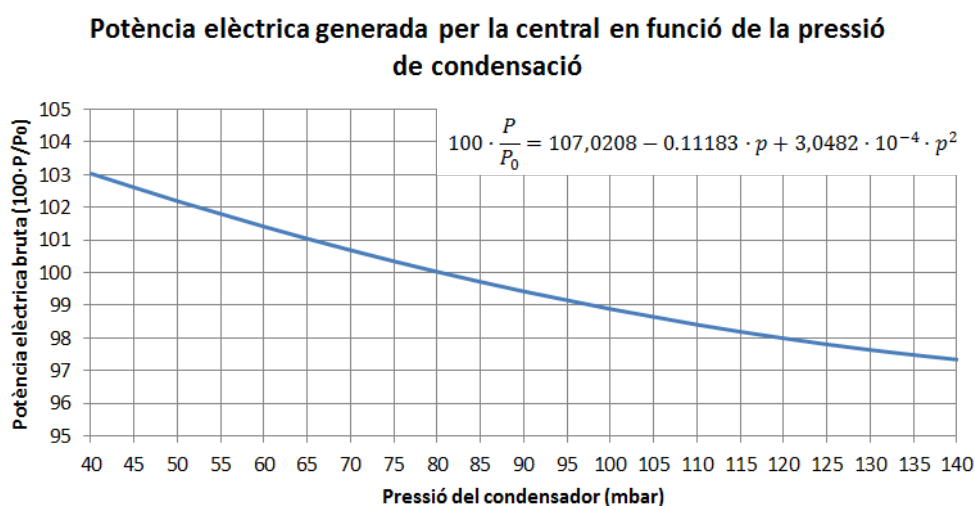


Figura D.1 Potència elèctrica generada en funció de la pressió de condensació^[27]

Substituint $p = 0,0565$ bar s'obté: $100 \cdot \frac{P}{P_0} = 101,675\%$ on P_0 correspon a la potència de disseny.

A través de la corba "Cold water temperature as function of wet bulb air temperature"

corresponent al 100% del cabal de circulació (veure Annex B.1), la qual enfronta (per diferents rangs de temperatures al condensador), la temperatura de l'aigua a la sortida de la torre (un cop realitzada la compressió per part del grup de bombes de refrigeració), amb la temperatura freda de bulb humit de l'aire d'entrada, sent aquestes $T_1 = 21,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ i $T_{he} = 14,65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivament, és possible determinar el rang de refredament del condensador, que en resulta ser $10,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (veure Annex B.1)

Posteriorment, a partir d'aquest rang, és directe determinar la temperatura de l'aigua de sortida del condensador mitjançant l'expressió:

$$T_2 = T_1 + rang = 21,6 \text{ }^{\circ}\text{C} + 10,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow T_c = 32,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

En conseqüència, si es representen les temperatures de funcionament del condensador davant la superfície de transferència del mateix (%), es té (veure figura D.2):

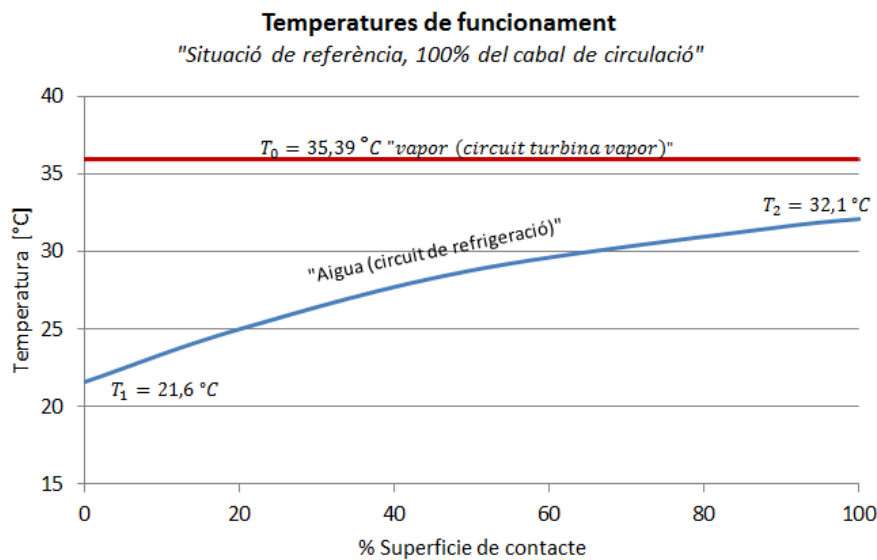


Figura D.2 Temperatures de funcionament del condensador en situació de referència

Conegut el rang de temperatures extremes del condensador, és possible calcular la potència tèrmica transmesa, a partir de l'equació D.1:

$$P_c = q \cdot c_p (T_2 - T_1) \quad \text{Equació D.1}$$

On:

P_c = Potència del condensador [MW]

$q = 20900 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ "Cabal màssic de circulació del circuit de refrigeració"

$c_p = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ "Calor específica de l'aigua"

$$\Delta T = (T_2 - T_1) = 10,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ "Rang de refredament del condensador"}$$

En conseqüència es té:

$$P_c = 20900 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^{\circ}\text{C}} \cdot 10,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 262450 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 262,450 \text{ MW}$$

Donat que l'aigua del mar Mediterrani té una salinitat mitjana aproximada $S_m = 38 \text{ ‰}$, i prenent en consideració que la densitat d'aquesta augmenta amb un augment de la salinitat, s'ha considerat una densitat corresponent a l'aigua de circulació del circuit de refrigeració de $1,03 \text{ g/cm}^3$ (veure figura D.3)

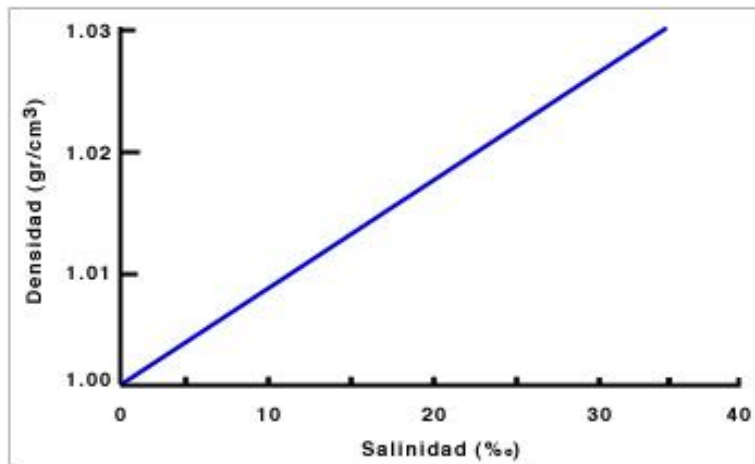


Figura D.3 - Corba de densitat de l'aigua del Mediterrani en funció de la salinitat

Finalment, un cop trobada la potencia P_c , coneguda la superfície total de condensació ($S_{\text{cond}} = 8906 \text{ m}^2$)^[4], és possible calcular el coeficient global de transferència tèrmica h a partir de l'equació D.2:

$$P_c = h \cdot S_{\text{cond}} \cdot LMTD \quad \text{Equació D.2}$$

On:

$$LMTD = \frac{(T_0 - T_2) - (T_0 - T_1)}{\ln\left(\frac{T_0 - T_1}{T_0 - T_2}\right)} \text{ "Diferència logarítmica mitjana de temperatures"}$$

$S_{\text{cond}} = 8906 \text{ m}^2$ Superfície total de contacte en el condensador

$h \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} \right]$ Coeficient global de transferència tèrmica

En conseqüència es té:

$$h = \frac{262450000 \text{ W}}{8906 \text{ m}^2 \cdot \frac{(35,386 - 21,6) - (35,386 - 32,1)}{\ln\left(\frac{35,386 - 21,6}{35,386 - 32,1}\right)}} = 4024,541 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

D.2 Càlcul de les condicions de funcionament per un augment d'un 10% en el cabal de circulació del circuit de refrigeració:

Considerant un augment del cabal de circulació del circuit de refrigeració d'un 10% i suposant constant el valor de $P_C = 262,450 \text{ MW}$ trobat en l'estudi de la situació de referència, corresponent a la potència de condensació del condensador de cadascun dels tres mòduls de generació de la central, és possible determinar el salt de temperatura ($T_2 - T_1$) entre l'entrada i la sortida del condensador, que es tindria en aquestes condicions, mitjançant l'expressió:

$$P_C = q \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = 262450 \text{ kW} = 20900 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1,1 \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (T_2 - T_1) \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \cdot 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

On:

$$(T_2 - T_1) = \frac{262450 \cdot 3600}{20900 \cdot 1,1 \cdot 4,18 \cdot 1030} = 9,55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Conegut el nou rang de temperatures extremes del condensador ($T_2 - T_1$) i emprant el gràfic que enfronta, per un cabal un 10% major que el cabal de referència, la temperatura freda del circuit de refrigeració amb la temperatura de bulb humit de l'aire d'entrada a la torre (per la qual s'ha suposat un valor de $14,65^\circ\text{C}$) (veure gràfic Annex B.3), és possible determinar la temperatura T_1 d'entrada al condensador mitjançant la corba corresponent a un rang de temperatures de $9,5^\circ\text{C}$.

$$T_1 = 22,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Coneguda T_1 i el rang de temperatures extremes del condensador, és directe calcular la temperatura T_2 de sortida del condensador com:

$$T_2 = 22,2 + \text{rang} = 22,2 + 9,55 = 31,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A partir d'aquestes temperatures, mitjançant l'equació D.2 i l'expressió de la corba de vaporització de l'aigua, és possible conèixer els valors que tindrien T_0 i p corresponents, respectivament, a la temperatura del vapor del circuit d'aigua-vapor a l'entrada del condensador, i a la pressió a la que es produirà la condensació (en les noves condicions imposades).

$$P_C = h \cdot S_{\text{cond}} \frac{(T_0 - T_2) - (T_0 - T_1)}{\ln\left(\frac{T_0 - T_1}{T_0 - T_2}\right)} \rightarrow 262450 \text{ kW} = 4024,541 \cdot 8906 \cdot \frac{(T_0 - 22,2) - (T_0 - 31,75)}{\ln\left(\frac{T_0 - 22,2}{T_0 - 31,75}\right)}$$

D'on s'obté $T_0 = 35,307 \text{ } ^\circ\text{C}$. En conseqüència, la pressió de condensació resultant, que permetrà avaluar els efectes de la mesura mitjançant el gràfic de la figura D.1, és:

$$\ln(p) = 13,721 - \frac{5120}{T_0 [K]} \rightarrow p = e^{13,721 - \frac{5120}{35,307 + 273,15}} \rightarrow p = 0,0563 \text{ bar} = 56,3 \text{ mbar}$$

Coneguda la nova pressió de condensació $p = 56,3 \text{ mbar}$, i emprant l'equació de la corba que enfronta la potència elèctrica bruta de la central, en funció de la pressió de condensació (veure Figura D.1), es pot determinar el nou valor de la potència elèctrica bruta ($100 \cdot P/P_0$) on P representa la potència actual i P_0 la potència de referència o de disseny.

$$100 \cdot \frac{P}{P_0} = 107,0208 - 0,11183 \cdot p + 3,0482 \cdot 10^{-4} \cdot p^2 \rightarrow 100 \cdot \frac{P}{P_0} = 101,691 \%$$

Considerant lineal la relació entre la potència elèctrica nominal generada (MW) per un dels 3 mòduls de generació de la central, i el terme $100 \cdot \frac{P}{P_0}$ (%), es pot deduir l'increment de potència resultant de la modificació aplicada com:

$$P_{nom (+10\%)} = 101,691 \% \cdot \frac{404,2 \text{ MW}}{101,675 \%} = 404,264 \text{ MW}$$

Suposant per tant, un guany de $\Delta P = 404,264 - 404,2 = 0,0636 \text{ MW} = 63,6 \text{ kW}$ en cadascun dels 3 grups de generació, és a dir $\Delta P_{TOT} = 63,6 \cdot 3 = \mathbf{189,9 \text{ kW}}$ en tota la instal·lació

És important considerar que aquesta modificació no suposarà un augment d'aquests 190 kW obtinguts ja que, més enllà de les simplificacions realitzades, l'augment del cabal de circulació comportarà un augment de la potència absorbida per les bombes del circuit i els ventiladors de la torre, que no seria correcte obviar.

Quan es modifica la velocitat del fluid que circula a través d'una bomba hidràulica sota les mateixes condicions en una instal·lació, la potència que absorbeix aquesta varia seguint aproximadament la següent relació^[20]:

$$\frac{P_2}{P_1} \approx \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad \frac{q_2}{q_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

On n_1 i n_2 corresponen a les velocitats de rotació de la bomba i P_1 i P_2 a les potències absorbides per l'equip en els estats previ i posterior a l'augment de cabal. Prenent en consideració que en bombes i ventiladors la variació del cabal de circulació és directament proporcional a la variació de la velocitat angular de rotació de l'eix^{[20],[21]}, se'n pot deduir, per les dues bombes de cada grup de generació de potència (de potència nominal 470 kW cada bomba^[4]):

$$\frac{P_{bomba \ 110\%}}{P_{bomba \ 100\%}} \approx \left(\frac{q_{110\%}}{q_{100\%}}\right)^3 \rightarrow P_{bomba \ 110\%} \approx 2 \cdot 470 \text{ kW} \cdot \left(\frac{1,1}{1}\right)^3 = 1251,14 \text{ kW}$$

Suposant un increment de la potència absorbida per les bombes en tota la instal·lació de valor:

$$\Delta P_{TOT\ bomb} = 3 \cdot (P_{bomb\ 110\%} - P_{bomb\ 100\%}) = 3 \cdot (1251,14 - 940) = \mathbf{933,42\ kW}$$

D.3. Càlcul de les condicions de funcionament per una disminució d'un 10% en el cabal de circulació del circuit de refrigeració:

Procedint de forma molt similar a la metodologia de càlcul emprada en el punt D.2 d'aquest annex, a continuació s'analitza quin seria el balanç de potències resultat de reduir el cabal de circulació un 10 % respecte el cabal de referència.

De la mateixa manera que en el cas anterior, es suposa constant la potència de condensació $P_C = 262,450 \text{ MW}$, i es dedueix el salt de temperatures extremes del condensador suposant, en aquest cas, un cabal 10% inferior al de referència.

$$P_C = q \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = 262450 \text{ kW} = 20900 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0,9 \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (T_2 - T_1) \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$(T_2 - T_1) = 11,67 \text{ }^\circ\text{C}$$

El salt de temperatures obtingut en el condensador és de 11,67 °C. Donat que no es disposa de corba de funcionament de la torre per exactament aquest valor de temperatura, s'ha treballat amb el valor disponible més similar, corresponent a $(T_2 - T_1) = 11,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (veure Annex B.2). Mitjançant aquest rang de temperatures, el valor de 14,65 °C fixat com a valor de referència per la temperatura de bulb humit de l'aire d'entrada a les torres, i el gràfic corresponent al 90% del cabal de circulació (veure annex B.2), es dedueix T_1 i, de forma directa, T_2 .

$$T_1 = 21,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 21,3 + \text{rang} = 21,3 + 11,67 = 32,97 \text{ }^\circ\text{C}$$

Procedint de la mateixa manera que en el punt 2 del present annex, considerant h constant i de valor $h = 4024,541 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$, emprant l'equació D.2 i l'expressió de la corba de vaporització de l'aigua, és possible conèixer els valors que tindrien T_0 i p , corresponents a la nova temperatura d'entrada al condensador del vapor procedent del cos de baixa pressió de la turbina, i a la pressió de condensació.

$$P_C = h \cdot S_{\text{cond}} \frac{(T_0 - T_2) - (T_0 - T_1)}{\ln\left(\frac{T_0 - T_1}{T_0 - T_2}\right)} \rightarrow 262450 \text{ kW} = 4024,541 \cdot 8906 \cdot \frac{(T_0 - 21,3) - (T_0 - 32,97)}{\ln\left(\frac{T_0 - 21,3}{T_0 - 32,97}\right)}$$

$$T_0 = 35,945 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\ln(p) = 13,721 - \frac{5120}{T_0 [\text{K}]} \rightarrow p = e^{13,721 - \frac{5120}{35,945 + 273,15}} \rightarrow p = 0,0582 \text{ bar} = 58,20 \text{ mbar}$$

Mitjançant la corba que enfronta la potència elèctrica de la central respecte la potència de disseny P_0 en funció de la pressió de condensació (veure Figura D.1), es determina, per $p = 58,20$ mbar, el nou valor $100 \cdot P/P_0$:

$$100 \cdot \frac{P}{P_0} = 107,0208 - 0,11183 \cdot p + 3,0482 \cdot 10^{-4} \cdot p^2 \rightarrow 100 \cdot \frac{P}{P_0} = 101,545\%$$

En conseqüència, considerant que la potència nominal de cadascun dels 3 grups de generació és $404,2 \text{ MW}^{[4]}$ i que en la situació de referència s'ha obtingut un valor $100 \cdot \frac{P}{P_0} = 101,675\%$, és possible deduir la variació de potència elèctrica generada per la modificació plantejada com:

$$P_{nom (-10\%)} = 101,545\% \cdot \frac{404,2 \text{ MW}^{[4]}}{101,675\%} = 403,683 \text{ MW}$$

En aquest cas, com era d'esperar, la potència elèctrica generada per cadascun dels tres grups de la central es veu reduïda. Concretament, la disminució d'aquesta suposaria unes pèrdues d'uns 517 kW per cada grup de generació:

$$\Delta P = 403,683 \text{ MW} - 404,2 \text{ MW} = -0,517 \text{ MW} = -517 \text{ kW (pèrdues)}$$

Tot i que en primera instància es pugui pensar que aquesta disminució de la potència fa la proposta totalment inviable, cal determinar encara la repercussió d'aquesta disminució del 10% del cabal de circulació en les bombes principals de refrigeració i en els ventiladors de la torre.

Mitjançant la mateixa relació que en el balanç realitzat en el punt D.2 d'aquest annex, i suposant que una disminució d'un 10 % en el cabal de circulació requerirà un cabal d'aire un 10 % menor en les cel·les de la torre per refrigerar l'aigua del circuit, s'obté:

Bombes de refrigeració^[20]:

$$\frac{P_{bomb \ 90\%}}{P_{bomb \ 100\%}} \approx \left(\frac{q_{90\%}}{q_{100\%}} \right)^3 \rightarrow P_{bomb \ 90\%} \approx 2 \cdot 470 \text{ kW} \cdot \left(\frac{0,9}{1} \right)^3 = 685,26 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{bomb.1 \text{ grup}} = (P_{bomb \ 100\%} - P_{bomb \ 90\%}) = (940 - 685,26) = 254,74 \text{ kW (guanys)}$$

Ventiladors axials de les 7 cel·les de refrigeració de la torre^[21]:

$$\frac{P_{vent \ 90\%}}{P_{vent \ 100\%}} \approx \left(\frac{q_{90\%}}{q_{100\%}} \right)^3 \rightarrow P_{vent \ 90\%} \approx 7 \cdot 160 \text{ kW} \cdot \left(\frac{0,9}{1} \right)^3 = 816,48 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{vent \ 1 \text{ torre}} = (P_{vent \ 100\%} - P_{vent \ 90\%}) = (1120 - 816,48) = 303,52 \text{ kW (guanys)}$$

En conseqüència, el balanç de potència resultant de la proposta plantejada, atenent als valors obtinguts, és de 123,78 kW en tota la central. Caldrà analitzar si les mesures necessàries per aplicar-la la fan una proposta viable, o no.

$$\Delta POT_{grup} = \Delta P + \Delta P_{bomb.1 grup} + \Delta P_{vent 1 torre} = -517 + 254,74 + 303,52 = 41,26 \text{ kW/mòdul}$$

$$\Delta POT_{TOT} = 3 \cdot \Delta POT_{grup} = \mathbf{123,78 \text{ kW}}$$

D.4. Càlcul de les condicions de funcionament en substituir el condensador existent per un condensador amb un 10% més de superfície de contacte i un cabal de circulació igual al cabal de referència.

A continuació es considera com a tercera proposta alternativa, la substitució del condensador existent per un altre capaç d'oferir una superfície d'intercanvi tèrmic un 10% major. Suposant, en aquest cas, un cabal de circulació igual al cabal de referència $q=20.900 \text{ m}^3/\text{h}$.

La superfície de transferència del nou condensador plantejat és:

$$S' = S \cdot 1,1 = 8906 \cdot 1,1 = 9796,6 \text{ m}^2$$

Considerant, de forma hipotètica, que $T_2 = 32,1 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_1 = 21,6 \text{ }^\circ\text{C}$, $P_c = 262,450 \text{ MW}$ i $h = 4024,54 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ romanen constants i de valor igual al calculat en la situació de referència (100% del cabal de circulació de la instal·lació), es busquen les condicions del vapor a l'entrada del condensador que assegurarien aquesta situació. La T_0 corresponent a la nova superfície de condensació seria:

$$P_c = h \cdot S' \cdot \frac{(T_0 - T_2) - (T_0 - T_1)}{\ln\left(\frac{T_0 - T_1}{T_0 - T_2}\right)} = 4024,541 \cdot 9796,6 \cdot \frac{(T_0 - 32,1) - (T_0 - 21,6)}{\ln\left(\frac{T_0 - 21,6}{T_0 - 32,1}\right)} \rightarrow T_0 = 34,83 \text{ }^\circ\text{C}$$

La nova pressió de condensació obtinguda a partir de l'equació de vaporització de l'aigua seria:

$$\ln(p) = 13,721 - \frac{5120}{34,83 + 273,15} = 0,05483 \text{ bar} = 54,83 \text{ mbar}$$

Obtenint, amb el mateix criteri plantejat en apartats anteriors, una potència elèctrica bruta ($100 \cdot P/P_0$) de valor:

$$100 \cdot \frac{P}{P_0} = 107,0208 - 0,11183 \cdot p + 3,0482 \cdot 10^{-4} \cdot p^2 \rightarrow 100 \cdot \frac{P}{P_0} = 101,8056 \%$$

De la que se'n poden deduir els guanys per cadascun dels 3 grups de generació:

$$P_{nou \text{ cond}} = 101,8056 \% \cdot \frac{404,2 \text{ MW}}{101,675 \%} = 404,719 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{1 \text{ mòdul}} = 404,719 \text{ MW} - 404,2 \text{ MW} = -0,517 \text{ MW} = 0,519 \text{ MW} = \mathbf{519 \text{ kW}}$$

S'obtenen 519 kW de guanys per mòdul però, tot i que aquesta mesura no comporta un increment de potència absorbida per ventiladors i bombes, portarà associada la necessitat de substituir el condensador existent, fet que suposarà un cost elevat. Caldrà analitzar en termes econòmics si la proposta és, o no, viable

ANNEX E: Càlculs ambientals de les propostes plantejades

En els càlculs inclosos a continuació s'ha considerat que les emissions de CO₂ i NO_x, en la situació actual de funcionament, per cadascun dels 3 grups de generació, són les que es detallen a la taula E.1 (treballant amb gas natural com a combustible). És important recalcar que el valor d'emissions de CO₂ no és el real, ha estat aproximat en base a referències bibliogràfiques^[1], donada la impossibilitat d'obtenir-lo. Contràriament, els valors de NO_x que es detallen a la taula són verídics, extrets directament de la resolució de la DIA del projecte de la central (BOE 117 14/05/2004 pàg. 18695, referència 5). No s'han realitzat els càlculs referents al SO_x i CO degut a les seves baixes taxes d'emissió

Considerant que la potència elèctrica nominal de cada mòdul de generació de la central és 404,2 MW, es té:

$$NO_x \left[\frac{g}{kWh} \right] = \frac{48,18 \frac{g}{s}}{404200 kW} \cdot \frac{3600 s}{1h} = 0,429 \frac{g}{kWh} \text{ de } NO_x \text{ per grup}$$

	CO ₂	NO _x
Emissions [g/s]	-	48,18 ^[6]
Emissions [g/kWh]	370	0,429

Taula E.1: emissions de CO₂ i NO_x considerats

Així mateix, s'ha plantejat per la realització dels càlculs, que una determinada millora en el rendiment de la central, comporta una reducció de la quantitat de combustible consumit en la mateixa mesura i, en conseqüència, una disminució de les emissions de gasos d'igual magnitud. És a dir, que per una millora de rendiment d'un 0,1%, es considerarà que les emissions de CO₂ i NO_x també pateixen una reducció del 0,1%.

E.1.- Conseqüències ambientals de la proposta 2, disminució del cabal de circulació del circuit de refrigeració en un 10 % respecte la situació actual.

En situació de referència, la CCC de Sagunt té un rendiment del 57,9 % i una potència elèctrica nominal unitària de 404,2 MW.^[4]

La proposta plantejada ha suposat una millora de 41,26 kW per mòdul i, en conseqüència, un augment de rendiment del 0,006%:

$$\eta' = 404,241 MW \cdot \frac{57,900 \%}{404,200} = 57,906 \%$$

Considerant que això suposa una reducció de les emissions de CO₂ i NO_x també del 0,006% es tenen unes reduccions de les taxes d'emissió de valor:

$$\text{Reducció de } CO_2 \text{ per kWh generat} = 370 \frac{g}{kWh} \cdot \frac{0,006}{100} = 0,0222 \frac{g}{kWh}$$

$$\text{Reducció de } NO_x \text{ per kWh generat} = 0,429 \frac{g}{kWh} \cdot \frac{0,006}{100} = 2,57 \cdot 10^{-5} \frac{g}{kWh}$$

Considerant que una central d'aquestes característiques pot treballar 7500 h a l'any^[1] l'estalvi anual en CO_2 i NO_x es podria estimar en:

$$\text{Reducció anual de } CO_2 = 0,0222 \frac{g}{kWh} \cdot \frac{7500 h}{1 any} \cdot 404241,26 kW = 67,31 \frac{t}{any} \text{ de } CO_2$$

$$\text{Reducció anual de } NO_x = 2,57 \cdot 10^{-5} \frac{g}{kWh} \cdot \frac{7500 h}{1 any} \cdot 404241,26 kW = 77,92 \frac{kg}{any} \text{ de } NO_x$$

E.2.- Conseqüències ambientals del canvi de condensador a un equip amb un 10% més de superfície de transferència:

Seguint la mateixa metodologia que en l'apartat E.1 d'aquest annex, en base a la proposta 3 plantejada (canvi de condensador amb un augment d'un 10% en la superfície total de transferència) la reducció de les emissions de CO_2 i NO_x seria:

$$\eta' = 404,719 MW \cdot \frac{57,900 \%}{404,200} = 57,974 \%$$

Seguint el criteri plantejat anteriorment, l'augment de rendiment del 0,074% implicaria una reducció de les emissions també del 0,074%, suposant una disminució de la quantitat de CO_2 i NO_x emesa a l'atmosfera per kWh generat, de valor:

$$\text{Reducció de } CO_2 \text{ per kWh generat} = 370 \frac{g}{kWh} \cdot \frac{0,074}{100} = 0,27 \frac{g}{kWh}$$

$$\text{Reducció de } NO_x \text{ per kWh generat} = 0,429 \frac{g}{kWh} \cdot \frac{0,074}{100} = 3,17 \cdot 10^{-4} \frac{g}{kWh}$$

I, en conseqüència, una reducció anual corresponent a:

$$\text{Reducció anual de } CO_2 = 0,27 \frac{g}{kWh} \cdot \frac{7500 h}{1 any} \cdot 404719 kW = 819,55 \frac{t}{any} \text{ de } CO_2$$

$$\text{Reducció anual de } NO_x = 3,17 \cdot 10^{-4} \frac{g}{kWh} \cdot \frac{7500 h}{1 any} \cdot 404719 kW = 962,22 \frac{kg}{any} \text{ de } NO_x$$

ANNEX F: Estimació de costos de construcció i manteniment d'una CCC

F.1 Estimació de costos nominals de referència per 2018 per una CCC a Nord Amèrica.^[11]

Table 20
Summary of Capital Costs for CC Reference Technology in Nominal \$

Capital Costs (in \$millions)	CONE Area				
	1 EMAAC 595 MW	2 SWMAAC 591 MW	3 Rest of RTO 578 MW	4 WMAAC 576 MW	5 Dominion 587 MW
Owner Furnished Equipment					
Gas Turbines	\$97.3	\$92.6	\$92.6	\$97.2	\$97.2
HRSR / SCR	\$43.5	\$43.5	\$43.5	\$43.5	\$43.5
Sales Tax	\$9.9	\$8.2	\$8.2	\$8.4	\$8.8
Total Owner Furnished Equipment	\$150.7	\$144.3	\$144.3	\$149.1	\$149.5
EPC Costs					
Equipment					
Condenser	\$4.2	\$4.2	\$4.2	\$4.2	\$4.2
Steam Turbines	\$35.5	\$35.5	\$35.5	\$35.5	\$35.5
Other Equipment	\$60.6	\$55.9	\$56.4	\$60.4	\$60.3
Construction Labor	\$213.8	\$162.1	\$164.5	\$168.2	\$146.9
Other Labor	\$45.1	\$39.6	\$39.9	\$41.0	\$39.1
Materials	\$37.8	\$37.8	\$37.8	\$37.8	\$37.8
Sales Tax	\$9.7	\$8.0	\$8.0	\$8.3	\$8.6
EPC Contractor Fee	\$66.9	\$58.5	\$58.9	\$60.6	\$57.8
EPC Contingency	\$62.4	\$54.6	\$54.9	\$56.5	\$54.0
Total EPC Costs	\$536.1	\$456.2	\$460.1	\$472.5	\$444.3
Non-EPC Costs					
Project Development	\$34.3	\$30.0	\$30.2	\$31.1	\$29.7
Mobilization and Start-Up	\$6.9	\$6.0	\$6.0	\$6.2	\$5.9
Net Start-Up Fuel Costs	-\$4.0	-\$3.7	-\$3.7	-\$1.5	-\$1.5
Electrical Interconnection	\$22.0	\$21.8	\$21.4	\$21.3	\$21.7
Gas Interconnection	\$22.6	\$22.6	\$22.6	\$22.6	\$22.6
Land	\$2.7	\$3.0	\$1.5	\$1.7	\$2.2
Fuel Inventories	\$6.1	\$0.0	\$0.0	\$5.9	\$6.0
Non-Fuel Inventories	\$3.4	\$3.0	\$3.0	\$3.1	\$3.0
Owner's Contingency	\$8.5	\$7.4	\$7.3	\$8.1	\$8.1
Financing Fees	\$18.9	\$16.6	\$16.6	\$17.3	\$16.6
Total Non-EPC Costs	\$121.3	\$106.7	\$105.0	\$115.8	\$114.2
Total Capital Costs	\$808.0	\$707.2	\$709.4	\$737.4	\$708.0
Overnight Capital Costs (\$million)	\$808	\$707	\$709	\$737	\$708
Overnight Capital Costs (\$/kW)	\$1,210	\$1,065	\$1,089	\$1,137	\$1,073
Installed Cost (\$/kW)	\$1,326	\$1,168	\$1,193	\$1,245	\$1,176

Taula F.1: Estimació de costos per 2018 dels equips d'una CCC a Nord Amèrica

F.2 Estimació de costos d'operació i manteniment per 2018, de CCC's a Nord Amèrica^[11]

Table 24
Summary of O&M Costs for CC Reference Technology

O&M Costs	CONE Area				
	1	2	3	4	5
	EMAAC 595 MW	SWMAAC 591 MW	Rest of RTO 578 MW	WMAAC 576 MW	Dominion 587 MW
Fixed O&M (2018\$ million)					
LTSA	\$0.3	\$0.3	\$0.3	\$0.3	\$0.2
Labor	\$4.6	\$3.3	\$3.6	\$3.5	\$3.0
Consumables	\$0.3	\$0.3	\$0.3	\$0.3	\$0.3
Maintenance and Minor Repairs	\$4.7	\$4.1	\$4.3	\$4.2	\$4.0
Administrative and General	\$0.4	\$0.3	\$0.3	\$0.3	\$0.3
Asset Management	\$0.7	\$0.6	\$0.7	\$0.6	\$0.6
Property Taxes	\$1.4	\$9.9	\$5.5	\$1.5	\$6.0
Insurance	\$4.8	\$4.2	\$4.3	\$4.4	\$4.2
Firm Gas Contract	\$0.0	\$6.6	\$0.0	\$0.0	\$0.0
Working Capital	\$0.1	\$0.0	\$0.0	\$0.1	\$0.0
Total Fixed O&M (2018\$ million)	\$17.4	\$29.7	\$19.2	\$15.1	\$18.7
Levelized Fixed O&M (2018\$/MW-yr)	\$26,000	\$44,800	\$29,500	\$23,300	\$28,300
Variable O&M (2018\$/MWh)					
Major Maintenance - Hours Based	1.49	1.45	1.47	1.47	1.45
Consumables, Waste Disposal, Other VOM	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
Total Variable O&M (2018\$/MWh)	2.63	2.60	2.61	2.61	2.60

Taula F.1: Estimació de costos per 2018 per O&M d'una CCC a Nord Amèrica